

Ensayos comparativos a escala real de cubierta formada por correas Z conformadas en frío

Comparative real scale tests of Z purlins roof system

A. Loureiro (*), R. Calvo (*)

RESUMEN

La utilización de correas Z conformadas en frío es muy habitual en construcción industrial. No obstante, debido al alto grado de incertidumbre de este tipo de estructuras y elementos, y a su tendencia a sufrir fenómenos de inestabilidad local, resulta muy interesante contar con resultados de ensayos reales.

En este artículo, se aportan los resultados de dos ensayos de cubiertas Deck a escala real. La cubierta se carga mediante balsa de agua hasta llegar al colapso de la estructura, determinando tanto su resistencia última, como el comportamiento hasta este punto. Adicionalmente se comparan los resultados de los ensayos con los obtenidos mediante diferentes metodologías habituales en el ámbito de la ingeniería estructural.

Se concluye que el comportamiento en el rango lineal durante los ensayos es muy similar al predicho analíticamente, y se observa una muy alta resistencia última hasta el colapso de la estructura en ambos ensayos.

Palabras clave: Correas Z; ensayos a escala real; acero conformado en frío; estructuras de acero.

ABSTRACT

The use of cold formed Z purlins is common in industrial construction. However, due to the high uncertainty of such structures and elements, and their tendency to suffer local instability phenomena, it is very interesting to have actual test results.

In this article, the results of two tests of full-scale roofs are provided. The roofs are loaded with water pool until the collapse of the structure, thereby determining its ultimate strength and behavior up to this point, and comparing the results with those obtained using different standard methodologies in the field of structural engineering.

It is concluded that the behavior in the linear range during testing is very similar to the predicted analytically, and a very high ultimate strength is observed until the collapse of the structure in both tests.

Keywords: Z purlins; real scale test; cold formed steel; steel structures.

Universidad de A Coruña.

Persona de contacto/Corresponding author: a.loureiro@udc.es (A. Loureiro)

Cómo citar este artículo/Citation: Loureiro, A., Calvo, R. (2016). Ensayos comparativos a escala real de cubierta formada por correas Z conformadas en frío. *Informes de la Construcción*, 68(542): e149, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.124>.

Licencia / License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de **Informes de la Construcción** se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Attribution License (CC BY) Spain 3.0.

Recibido/Received: 05/10/2015
Aceptado/Accepted: 26/04/2016
Publicado on-line/Published on-line: 28/06/2016

1. INTRODUCCIÓN

En la edificación actual, sobre todo en la industrial y comercial, se utilizan diferentes sistemas de cubierta en función del uso, las prestaciones requeridas y el coste económico. Como soluciones habituales se plantean diferentes variantes de cerramientos y estructura soporte, siendo el sistema más utilizado el cerramiento metálico sobre correas. Dentro de esta opción, es posible el combinar diferentes tipos de cerramientos metálicos (chapa simple, panel sándwich con diferentes aislamientos tanto prefabricado como *in situ*, cubierta Deck, etc).

Para casos de edificios donde sus dimensiones en planta sean importantes se hace imprescindible ir a pendientes bajas, casi planas, para reducir la cota de cumbrera. Esto obliga a desechar soluciones tipo chapa simple o panel sándwich que como mínimo deben tener pendientes superiores al 6%. Por debajo de este valor la estanqueidad es difícil de conseguir con estos sistemas ya que aparecen infiltraciones por juntas entre elementos. A la vez, los remates necesarios exigen configuraciones específicas difíciles de conseguir. Para estos casos una solución muy habitual es la cubierta Deck autoprotegida, donde las correas de cubierta pueden estar configuradas de multitud de formas, siendo uno de los casos más habituales el utilizar correas Z galvanizadas conformadas en frío. Como ventajas de las mismas podemos destacar:

- Bajo coste de material por metro cuadrado.
- El material está galvanizado en continuo por lo que no necesita aplicar acabado adicional.
- Sencillez y rapidez de montaje
- Fabricación en continuo y de forma automatizada.
- Economía de fabricación y montaje

Este tipo de correas ha sido objeto de importantes estudios por parte de investigadores, con el fin de ahondar en el conocimiento de su comportamiento. Así, se ha visto que la longitud de solape o del casquillo de unión, es un parámetro muy importante en el comportamiento de las correas (1) (2) (3). Lim y Nethercot (4) y Zaharia y Dubina (5) han estudiado la rigidez de uniones atornilladas en estructuras formadas por elementos conformados en frío. Dubina y Ungureanu (6) estudian el pandeo global de correas Z multi-vano, con el ala superior arriostrada por la chapa de cubierta. Dubina et al (7) recogen las reglas de diseño desarrolladas recientemente en Europa, permitiendo de ese modo una mejor comprensión de la normativa europea (8) para estructuras de acero conformado en frío. En esa publicación establecen que este tipo de estructuras está dominado por problemas de estabilidad y tecnología de uniones, que influyen significativamente en el comportamiento estructural. Recientemente, Gutiérrez et al (9) (10) (11) han estudiado el comportamiento de correas Z conformadas en frío, unidas mediante casquillo, realizando ensayos y proponiendo una formulación para la determinación de la rigidez y la resistencia de este tipo de uniones. En el campo de los perfiles conformados en frío, Cifuentes-Bulté y Medina-Encina (12) analizan un procedimiento para la obtención de cargas últimas en arcos de perfiles conformados en frío.

No obstante, a pesar de todo este trabajo descrito, es muy importante tener datos experimentales por cuanto de un modo analítico es prácticamente imposible tener en cuenta múltiples factores como holguras en los barrenos, deformaciones iniciales, errores de alineamiento durante el montaje, etc. Por ello, en este artículo se presentan resultados importantes y clarificadores del comportamiento de las cubiertas realizadas

mediante cubierta Deck y correas Z conformadas en frío. Se complementa y completa de este modo lo indicado por Loureiro y Calvo (13) en un trabajo previo. Ello es así debido a la realización de dos ensayos a escala real, llevando la estructura completa al colapso, y midiendo de este modo la resistencia total real del sistema. Adicionalmente se comparan los resultados experimentales con los obtenidos mediante diferentes métodos de cálculo habituales en el diseño estructural.

2. MODELIZACIÓN

El trabajo se centra en una cubierta típica de un centro logístico de grandes dimensiones, con una pendiente baja (2%), realizada con correas Z conformadas en frío, continuas, separadas 1.500 mm entre ellas.

El objetivo del trabajo es diseñar las correas de la forma más ligera posible, cumpliendo la norma en cuanto a tensiones máximas y deformaciones. Para ello se han empleado diferentes métodos de cálculo:

- Método 1: Utilización de tablas de fabricantes de perfiles Z conformadas en frío.
- Método 2: Dimensionamiento manual a partir de la ley de flectores de viga continua.
- Método 3: Uso de programa Cype Generador de pórticos®.
- Método 4: Uso de programa Cype Metal3D®.
- Método 5: Uso de programa de elementos finitos.

En el modelo de cálculo se considera la correa como continua, simplemente apoyada en los extremos, con diferentes espesores en función de los esfuerzos. Partiendo de la experiencia y conocimiento de este tipo de estructuras se analiza el caso de 9.680 mm de vano (todos iguales) y se dispone Z300 × 2 en los vanos centrales, Z300 × 2,5 en los vanos extremos y Z300 × 3 en los casquillos de 2.400 mm de longitud que centrados en cada apoyo dan la continuidad en la correa (Figura 1). La distancia entre correas es 1.500 mm.

A efectos de cálculo se considera la correa con fijación rígida a cubierta, impidiendo así el giro del ala superior, según se detalla en la norma EN 1993-1-3:2004 (14). En los apoyos sobre pórtico o sobre testero, se utiliza un elemento denominado ejón, de espesor 6 mm, 150 mm de ancho y 290 mm de altura fijado al pórtico y fijado a la correa. En la fijación de la correa al ejón se utilizan 4 tornillos T12 6.8 separados 80 × 200 mm entre ejes y centrados en la correa.

2.1. Acciones consideradas

Las acciones de cálculo consideradas son las debidas al peso propio, la carga de nieve, sobrecarga de uso y carga de viento, con sus correspondientes combinaciones según el CTE DB_SE_AE (15).

La combinación analizada más desfavorable es la de peso propio más sobrecarga y nieve, dando lugar a una carga total mayorada de 252 kp/m², dando lugar a una carga de 378 kp/m de correa.

2.2. Materiales utilizados

El material utilizado para la fabricación de las correas Z es un acero S280GD conformado en frío en máquina continua, que tiene un límite elástico mínimo garantizado de 280 N/mm² (2.854 kp/cm²). Teniendo en cuenta que se van a realizar



Figura 1. Esquema de cálculo y detalles de unión entre correas.

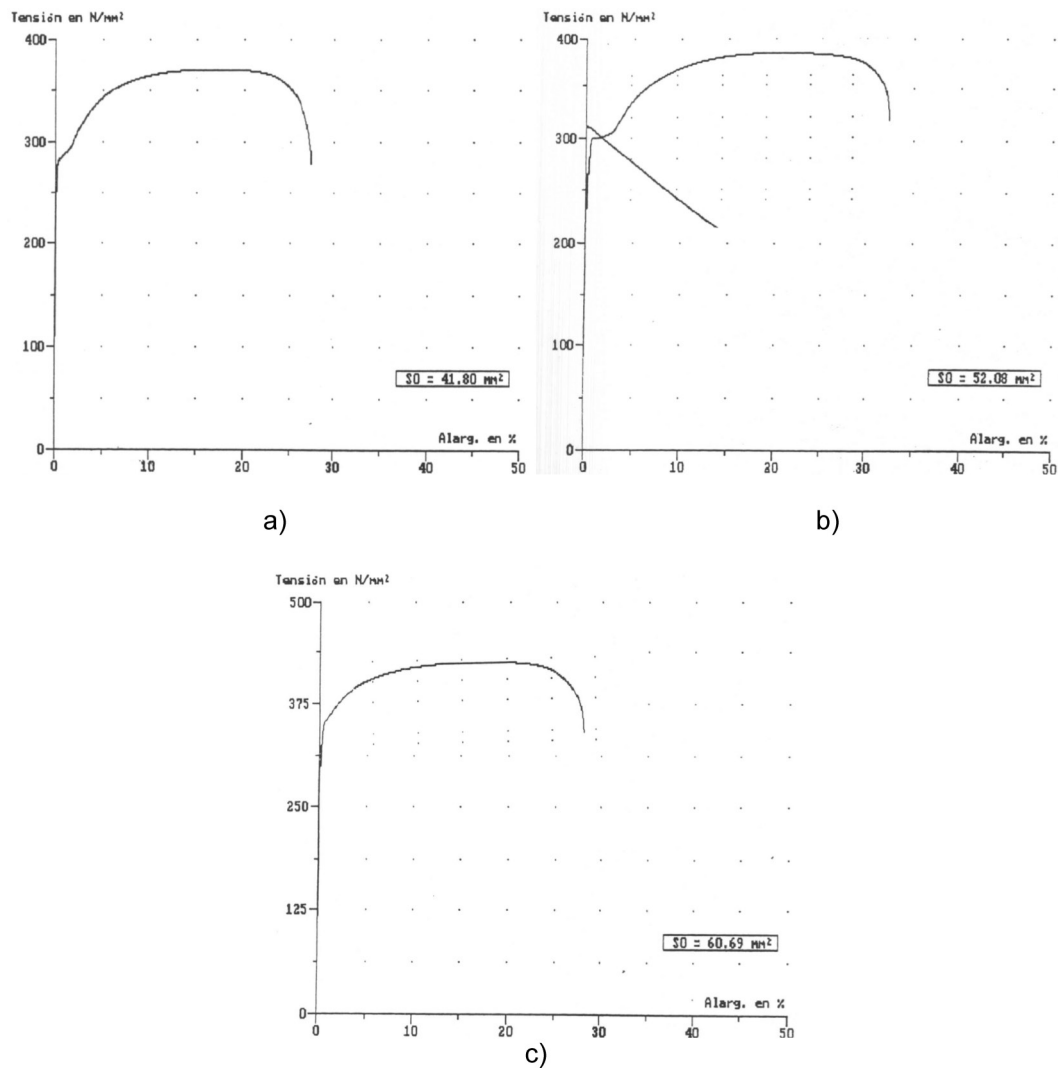


Figura 2. Ensayos de tracción para las correas de: a) 2 mm, b) 2,5 mm y c) 3 mm de espesor.

Tabla 1. Características mecánicas de las correas.

	Límite elástico s_e (N/mm ²)	Tensión última s_u (N/mm ²)
Z300 × 2	281,0	370,7
Z300 × 2,5	287,9	358,0
Z300 × 3	343,4	405,6

ensayos de las correas, se adjuntan los resultados de los ensayos realizados certificados (Tabla 1 y Figura 2).

2.3. Resultados de los diferentes métodos de cálculo

Con las consideraciones del modelo ya mencionadas, se ha llevado a cabo un diseño mediante los métodos de cálculo indicados. Como ejemplo ilustrativo en la Figura 3 se muestran los resultados del modelo de elementos finitos.

La Tabla 2 recoge los resultados comparativos entre los diferentes métodos. Se pueden observar las diferencias existentes, que muestran como a medida que vamos realizando cálculos más avanzados y complejos se va consiguiendo soluciones más precisas y económicas.

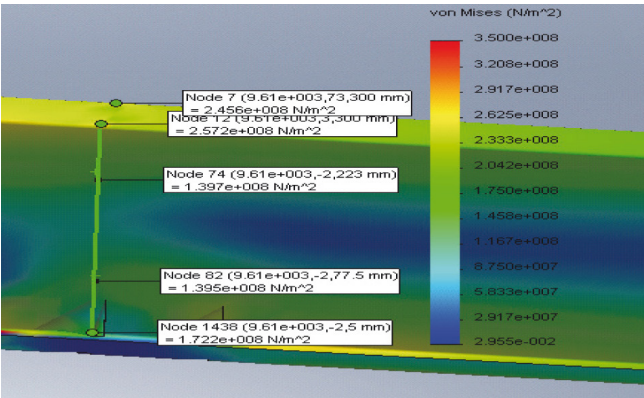


Figura 3. Tensión de Von Mises en el primer apoyo continuo.

Como se puede observar, el método de elementos finitos obtiene un diseño más ajustado y económico, aunque el tiempo de modelización es elevado, solo asumible para proyectos de cierta entidad.

3. ENSAYOS

Los ensayos representan de forma precisa una cubierta Deck típica muy extendida en el ámbito industrial y comercial tratando de validar los resultados obtenidos en los cálculos teóricos indicados con anterioridad en este artículo. Como se ha indicado anteriormente, se ha definido cada línea de correa que soporta la cubierta como una viga continua con apoyos cada 9,68 m. El modelo para el ensayo representa fielmente esta situación, considerando 4 vanos consecutivos completos desde un extremo hasta llegar al punto de cambio de signo del momento del quinto vano. Este punto es el mismo para todas las hipótesis, por tratarse en todas ellas de cargas distribuidas sobre las correas. Se modelan y construyen 3 líneas de correas separadas 1.500 mm entre ellas. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran el esquema, el modelo 3D y el modelo real, respectivamente.

Como se observa en las figuras indicadas, se utiliza una estructura primaria formada por pórticos a base de estructura laminada de 1.500 mm de altura, perfectamente nivelados y arriostados. La nivelación se realiza utilizando un nivel óptico marca Pentax AL-M2 de 32X. Sobre la cubierta se monta una balsa que ocupa toda la superficie y será utilizada para hacer la prueba de carga. La estructura de esta balsa está formada por chapa de 3 mm recubierta con una lámina de PVC para asegurar la estanqueidad. La Figura 7 muestra una vista superior del ensayo.

Para realizar la medición se ha instalado un sistema compuesto por 5 regletas milimetradas, situadas en el suelo de modo vertical, y por otras tantas pletinas sujetas a las vigas de la estructura.

La cubierta está constituida por una chapa galvanizada de 0,7 mm de espesor, sobre la que se apoya un capa de lana de roca de 80 mm de espesor. La capa exterior es una lámina de PVC continua.

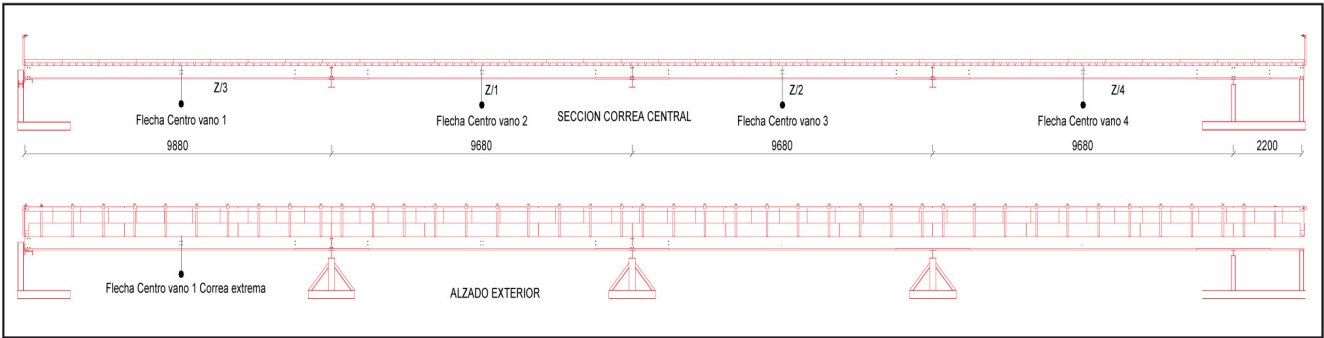


Figura 4. Esquema de montaje y puntos de medición de desplazamientos.

Tabla 2. Resultados de los diferentes métodos de cálculo.

	Método de cálculo	Correa Central	Conector	Correa extrema	Peso por línea	Sobrecoste (%)
1	Tabla de fabricante	Z300 × 3	Z300 × 4	Z300 × 3	1534,4	33,0
2	Cálculo con ley viga continua	Z300 × x2	Z300 × 4	Z300 × 2,5	1227,1	16,9
3	Cype Generador de pórticos	Z300 × 4	Z300 × 4	Z300 × 4	2026,4	75,6
4	Cype Metal3D	Z300 × 2	Z300 × 3	Z300 × 2,5	1227,1	6,3
5	MEF	Z300 × 2	Z300 × 3	Z300 × 2,5	1154,1	0,0

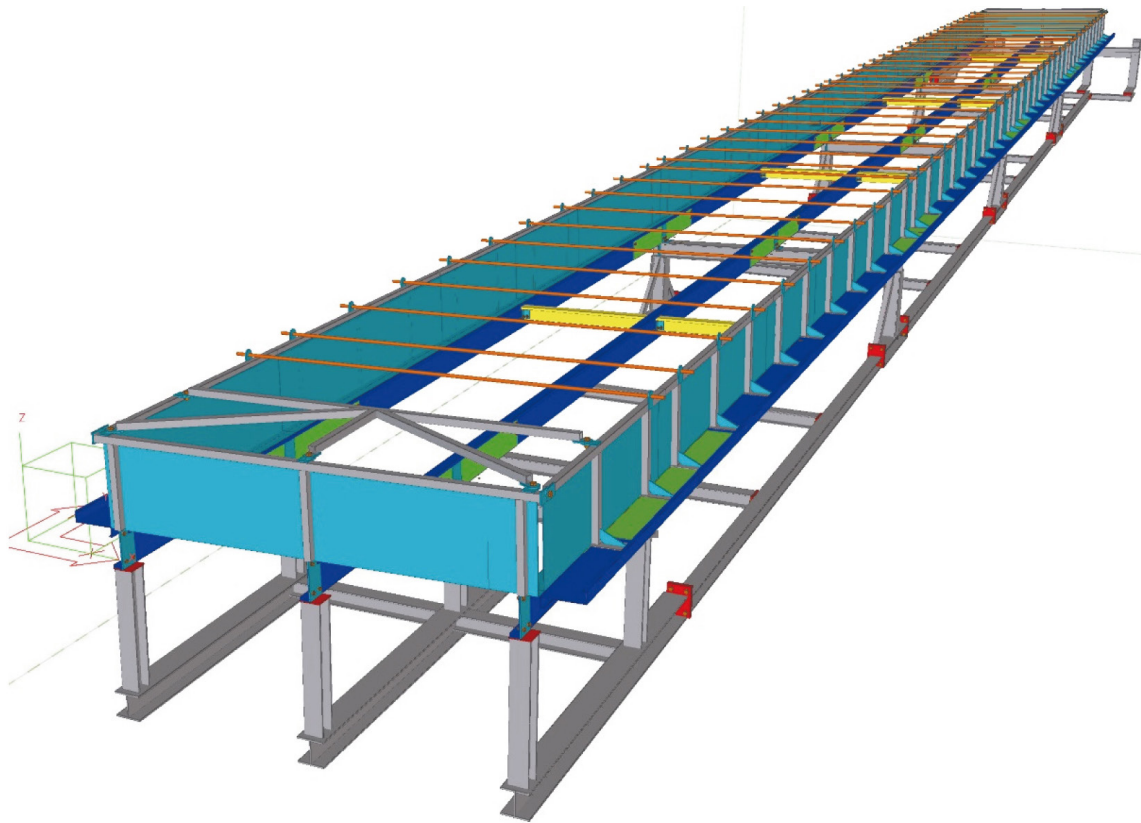


Figura 5. Modelo 3D del ensayo.



Figura 6. Modelo real de montaje previo al ensayo.

El muro de apoyo extremo se simula con perfiles verticales en los puntos en los que se disponían las fijaciones con perfiles L en la obra. En el apoyo extremo se respeta exactamente la disposición de ejones sobre la UPN horizontal de atado de muro, y los tubos de compresión.

Todos los apoyos de las correas sobre la estructura se realizan mediante ejones con varilla de refuerzo que se apoyan sobre los pórticos. Estos elementos tienen forma de L y son de espesor 6 mm, 150 mm de ancho y 290 mm de altura. Son los elementos de unión pórtico-correa.

En el ensayo se sitúa una correa en horizontal en cada lateral, con el fin de simular la rigidez de la chapa de cubierta en su plano (efecto diafragma). Hay que tener en cuenta que las cubiertas habitualmente tienen un ancho entre 100 y 270 m, mientras que en el ensayo solamente disponemos de 3 m. Esta rigidez del plano de cubierta es necesario considerarla ya que va a repercutir sobre el posible desplazamiento del ala



Figura 7. Vista superior del ensayo.

superior de la correa, que se ha considerado fijo en el plano de la cubierta.

En las hipótesis de cálculo no se consideran los posibles desplazamientos horizontales en los pórticos, arrastrados por la flexión de las correas. Puesto que en el primer ensayo se apreció que estos desplazamientos horizontales no eran despreciables, en el ensayo 2 se colocan tubos de compresión, como muestra la Figura 8, con el fin de reducir dichos desplazamientos y ajustar el comportamiento del ensayo a las hipótesis de cálculo.

El proceso de llenado con agua se realiza con dos mangueras de aporte, una por cada extremo, con un ritmo estable de 300 litros por minuto. Un topógrafo realiza las mediciones de flecha en la correa central, en el punto medio de cada uno de los 4 vanos intermedios y en el punto de máxima flecha teórica en el vano extremo.

3.1. Resultados del ensayo 1

Los resultados del ensayo 1 se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 9. Se puede ver como el comportamiento de las correas es elástico y uniforme hasta alcanzar la carga de proyecto (carga total mayorada de 250 kp/m²). Las mediciones reales son muy similares a las teóricas. Por ejemplo, para el vano extremo, el cálculo teórico aportaba una flecha límite de 39 mm que coincide exactamente con el valor real medido.

A la hora de interpretar los resultados es necesario tener en cuenta la sobrecarga que produce el agua adicional acumulada debido al embalsamiento por la flecha de las correas. Este valor se ha estimado en un 18 %, lo que implica que la carga aplicada en el vano extremo para 250 mm de agua se aproxima a los 300 kp/m². Una vez alcanzada la carga de proyecto, el ensayo se ha llevado hasta el colapso que se ha producido a los 275 mm de agua, es decir, unos 325 kp/m².

Tabla 3. Resultados del ensayo 1.

Carga equiv. (kg/m ²)	Flecha centro vano 4 (mm)	Flecha chapa cubierta (mm)	Flecha centro vano 3 (mm)	Flecha centro vano 2 (mm)	Flecha centro vano 1 (mm)	Centro vano 1 correa lateral (mm)
40	10	4	7	9	7	5
65	15	6	12	12	16	8
100	21	8	17	17	25	11
120	25	9	21	21	31	13
150	31	10	26	26	39	16
175	37	12	31	31	46	18
200	41	13	35	36	53	21
225	47	14	40	40	60	24
250	54	16	45	45	71	27
275	60	17	50	50	78	30

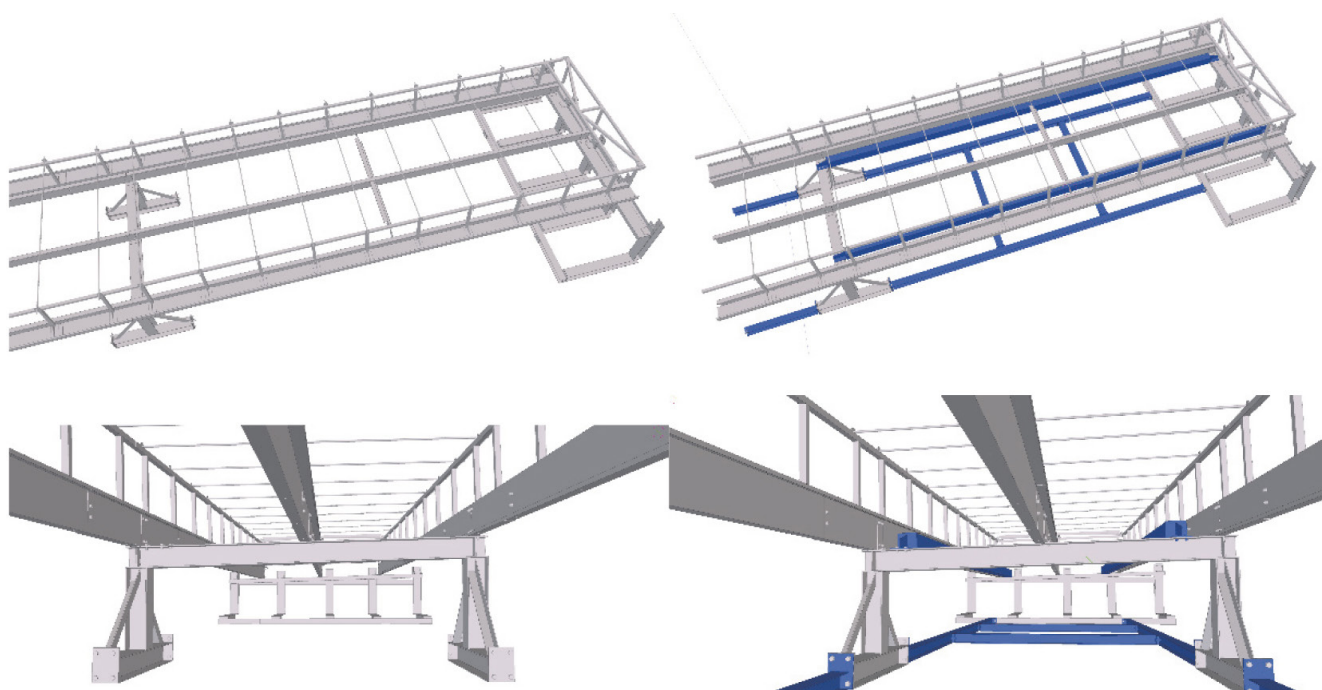


Figura 8. Detalles del ensayo sin (ensayo 1) y con tubos de compresión (ensayo 2).

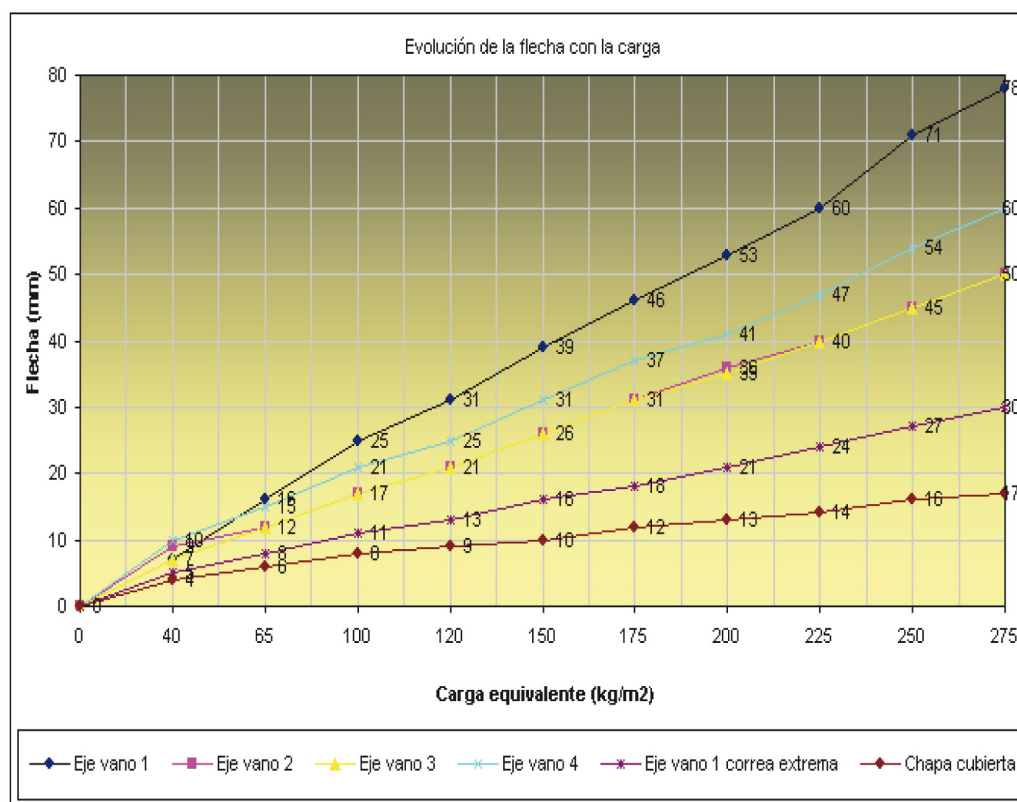


Figura 9. Gráfica de deformaciones del ensayo 1.

Durante el desarrollo del ensayo no se observaron alabeos ni aplastamientos hasta poco antes del colapso de la estructura. Sí se observó una excesiva aproximación de los pórticos entre sí, debido a la ausencia de tubos de compresión entre ellos.

3.2. Resultados del ensayo 2

Tras la experiencia del primer ensayo, en el segundo se colocaron tubos de compresión entre los pórticos, para evitar el efecto de aproximación de los mismos durante el llenado. Al igual que en el ensayo anterior, una vez alcanzados los 250 mm de agua (casi 300 kp/m², considerando el incremento de carga debido a la flecha de las correas), se continúa

llenando hasta llegar al colapso, que se produjo con un valor de 420 kp/m². La Tabla 4 y la Figura 10 muestran los resultados de este ensayo.

Al igual que en el primer ensayo se observa un comportamiento lineal hasta alcanzar la carga límite elástica calculada. A partir de este punto, se continúa con el llenado con el fin de determinar la carga última que es capaz de soportar la estructura.

Además, durante el rango elástico no se observan alabeos ni aplastamientos ni deformaciones puntuales, presentando una deformada limpia y un comportamiento uniforme.

Tabla 4. Resultados del ensayo 2.

Carga equiv. (kg/m²)	Centro vano 4 (mm)	Centro vano 3 (mm)	Centro vano 2 (mm)	Centro vano 1 (mm)	Vano 1. Punto teórico de máx. flecha
20	2	2	2	2	2
50	9	8	8	8	8
75	14	12	12	13	12
100	20	16	15	19	18
125	25	19	19	26	25
150	29	24	23	34	32
175	34	28	27	38	36
200	39	32	30	45	43
225	42	36	34	51	49
225	43	36	34	52	51
250	48	41	39	58	57

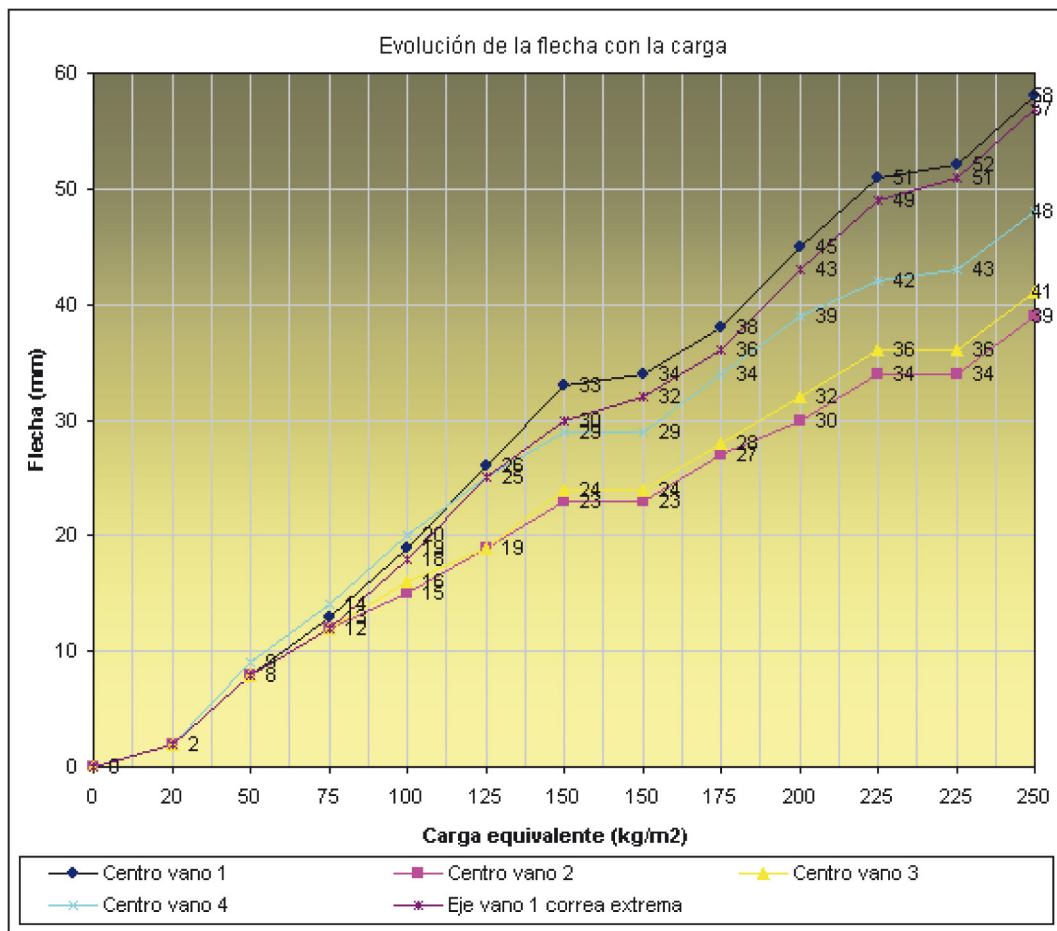


Figura 10. Gráfica de deformaciones del ensayo 2.

4. COMPARATIVA ENTRE ENSAYOS Y MODELOS TEÓRICOS

Como se aprecia de los resultados obtenidos, el comportamiento durante los ensayos en el régimen elástico, hasta alcanzar la carga de proyecto, es muy similar a lo predicho por los métodos de cálculo, aunque obviamente, existen diferencias en función de cuál de estos métodos se aplique.

Así, se puede ver en la Figura 11 una comparación entre las flechas previstas en el vano 1 con los diferentes métodos de cálculo mencionados anteriormente, y las flechas reales medidas en el ensayo 2, donde las diferentes columnas se corresponden con:

- Columna 1: Utilización de tablas de fabricantes de perfiles Z conformadas en frío.
- Columna 2: Dimensionamiento manual a partir de la ley de flectores de viga continua.
- Columna 3: Uso de programa Cype Generador de pórticos®.
- Columna 4: Uso de programa Cype Metal3D®.
- Columna 5: Uso de programa de elementos finitos.
- Columna 6: Resultados de los ensayos.

En cuanto a la capacidad resistente, se observa cómo la carga soportada por los ensayos es muy superior a la prevista mediante cálculo elástico con los diferentes métodos aplicados. Ello se debe probablemente, a la reserva de resistencia

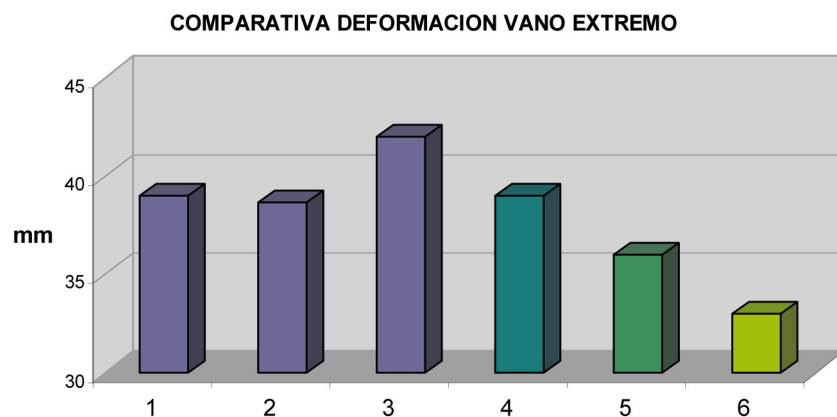


Figura 11. Desplazamientos en vano 1 para los diferentes métodos de cálculo y el ensayo 2.

del propio material, así como a la aportación que la cubierta realiza al comportamiento estructural. Evidentemente, esta aportación no es tenida en cuenta por los procedimientos de cálculo habituales.

En los ensayos se ha observado que es importante limitar el desplazamiento entre puntos de apoyo a medida que aumenta la carga, utilizando para ello tubos de compresión. Sin los tubos de compresión, en el primer ensayo se observa como los puntos de apoyo se van aproximando al ir aumentando la flecha de las correas y en el colapso se observa un desplazamiento importante del pórtico testero hacia el anterior. La Figura 12 muestra el colapso de la estructura.



Figura 12. Colapso de la estructura.

Los ensayos han sido analizados hasta la carga teórica que alcanza el régimen elástico al límite y a partir de ahí se han llevado a colapso para evaluar su capacidad última. Los datos de los cálculos teóricos son siempre hasta límite elástico y el ensayo se ha centrado en esa parte. La Figura 13 muestra la comparación entre la carga última del ensayo 2 y las cargas de diseño y las de combinación (cargas mayoradas).

Por lo tanto con las cargas de combinación alcanzaría un valor límite teórico de 252 kg/m² mientras que el ensayo, una vez sobrepasada esta carga y validada, se ha llevado a colapso, alcanzándose éste a 470 kg/m², un 78 % de carga por encima del límite de carga de combinación y un 276 % por encima de la carga de diseño de 170 kg/m² (cargas sin mayorar).

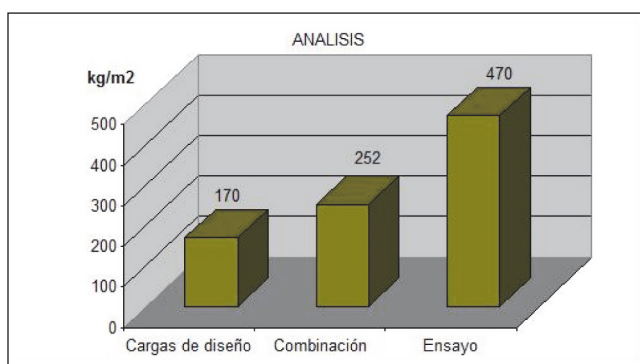


Figura 13. Comparación entre la carga teórica, la carga mayorada y la carga última del ensayo 2.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado una estructura de cubierta formada por correas Z conformadas en frío, con cubierta Deck. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis estructural mediante métodos habituales en ingeniería. Adicionalmente se han realizado dos ensayos a escala real de los modelos analizados. Los resultados de estos ensayos se muestran en el artículo, y se comparan con los obtenidos analíticamente.

Se observa que el funcionamiento del modelo teórico y del práctico son similares, lineales en ambos casos y bastante correspondidos.

Se manifiesta también la capacidad de carga de las correas, llegando en el segundo ensayo a cargas que rondan los 300 kg/m² sin que aparezcan fenómenos fuera de la flecha como abolladuras, desplomes o torsiones siendo la deformada limpia.

En los ensayos queda patente la alta resistencia última de la estructura completa, contando con el arriostramiento que a las correas le producen, tanto la propia cubierta, como los elementos de arriostramientos entre correas empleados.

En cuanto a los modelos de cálculo empleados, se observa cómo la utilización de modelos y métodos de cálculo más exactos da lugar a una economía en la solución adoptada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo y la financiación recibida por parte del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto BIA2013-48069-C2-2-P, así como a la empresa Aceriusa, S.A., por su colaboración en la realización de los ensayos.

REFERENCIAS

- (1) Ho, H. C., Chung, K. F. (2004). Experimental investigation into the structural behavior of lapped connections between cold-formed steel Z sections. *Thin-Walled Structures*, 42: 1013–1033, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2004.03.022>.
- (2) Chung, K. F., Ho, H. C. (2005). Analysis and design of lapped connections between cold-formed steel Z sections. *Thin-Walled Structures*, 43: 1071–1090, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2004.11.005>.
- (3) Gutiérrez, R., Loureiro, A., Moreno, A., Reinoso, J. M., Bellón, R. (2008). Behavior analysis of bolted connected Z cold formed steel beams. *Eighth world congress on computational mechanics, fifth European congress on computational methods in applied sciences and engineering, ECCOMAS*.
- (4) Lim, J. B. P., Nethercot, D. A. (2004). Stiffness prediction for bolted moment-connections between cold-formed steel members. *Journal of Constructional Steel Research*, 60: 85–107, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X\(03\)00105-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-974X(03)00105-6).
- (5) Zaharia, R., Dubina, D. (2010). Stiffness of joints in bolted connected cold-formed steel trusses. *Journal of Constructional Steel Research*, 62: 240–249, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2005.07.002>.
- (6) Dubina, D., Ungureanu, V. (2010). Behaviour of multispan cold formed Z purlins with bolted lapped connections. *Thin-Walled Structures*, 48: 866–871, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2010.04.003>.

- (7) Dubina, D., Ungureanu, V., Landolfo, R. (2012). *Design of cold formed steel structures. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: Design of cold formed steel structures*. ECCS Eurocode Design Manuals.
- (8) Comité Européen de Normalisation (CEN). (2006). *EN1993-1-3. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold formed members and sheeting*.
- (9) Gutiérrez, R., Loureiro, A., López, M., Moreno, A. (2011). Analysis of cold formed purlins with slotted sleeve connections. *Thin-Walled Structures*, 49(7): 833-841, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2011.02.008>.
- (10) Gutiérrez, R., Loureiro, A., López, M., Reinoso, J. M. (2011). Cases study of CFS purlins with sleeve connections. *Sixth European conference on steel and composite structures, EUROSTEEL*.
- (11) Gutiérrez, R., Loureiro, A., Reinoso, J. M., López, M. (2015). Numerical study of purlin joints with sleeve connections. *Thin-Walled Structures*, 94: 214-224, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2015.04.014>.
- (12) Cifuentes-Bulté, H., Medina-Encina, F. (2015). Procedimiento para la obtención de cargas últimas de arcos de perfiles conformados en frío. *Informes de la Construcción*, 67(539): e094, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.117>.
- (13) Loureiro, A., Calvo, R. (2014/10/09). Experimental results of a completed Z_purlings system. *7th European Conference on Steel and Composite Structures. EUROSTEEL 2014*.
- (14) Comité Européen de Normalisation (CEN). (2004). *EN 1993-1-3. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*.
- (15) CTE. *DB_SE_AE Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*.

* * *